Optische Untersuchungen von Bastfasern und Holzelementen

von

Dr. **Josef Schiller,**

botanischer Assistent, Triest.

Aus dem pflanzenphysiologischen Institut der Universität Wien.

(Mit 8 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 25. Oktober 1906.)

Eine besondere Aufmerksamkeit wird im pflanzenphysiologischen Institut der Wiener Universität dem Studium der chemischen und physikalischen Beschaffenheit der Pflanzengewebe zugewendet. Um hier nur von der letzteren zu sprechen, so wurden im Laufe der Jahre Untersuchungen über Festigkeit und Elastizität, über Härte, über das optische und magnetische Verhalten der pflanzlichen Zellhäute und Gewebe angestellt.

Was speziell das optische Verhalten der Zellmembranen und Gewebe der Pflanzen anbelangt, so hat mir Herr Hofrat Prof. Wiesner die Anregung gegeben, die Studien fortzusetzen, welche im Institut von E. Ott und Remec über Lichtbrechung und Doppelbrechung bisher ausgeführt wurden. (Siehe Literaturverzeichnis.)

Herr Hofrat Wiesner übertrug mir diese Aufgabe, da ihm bekannt war, daß ich als Demonstrator im mineralogischen Institut des Herrn Prof. Becke vorzügliche Gelegenheit hatte, mich eingehend mit dem optischen Verhalten der Kristalle zu beschäftigen und die bekannten sinnreichen Methoden des Herrn Prof. Becke auf kristallographischem und petrographischem Gebiete kennen zu lernen.

Vor allem war es die Becke'sche Methode zur Bestimmung des Lichtbrechungsvermögens, die mich anzog und die sichere Resultate auf botanischem Gebiete zu geben versprach.

Becke wurde bei seinen petrographischen Studien auf die eigentümlichen Beleuchtungsverhältnisse aufmerksam, die an den Grenzen zweier aneinanderstoßender Minerale im Dünnschliff bei mikroskopischer Betrachtung auftreten, sofern dieselben in ihrem Lichtbrechungsvermögen voneinander abweichen. Die Ergebnisse seiner diesbezüglichen Studien legte genannter Autor in seiner Arbeit »Über die Bestimmbarkeit der Gesteinsgemengteile, besonders der Plagioklase auf Grund ihres Lichtbrechungsvermögens« nieder. Damit führte Becke in die petrographische Wissenschaft eine Methode ein, welche außerordentlich geringe Unterschiede der Lichtbrechung der einzelnen Minerale im Dünnschliff unter dem Mikroskop wahrzunehmen und damit die Minerale zu unterscheiden gestattet.

Mit der Einführung der Becke'schen Methode in die Botanik und Zoologie bietet man übrigens den mikroskopisch arbeitenden Botanikern und Zoologen nichts völlig Neues, da diese schon seit langer Zeit auf die eigentümlich helle Linie aufmerksam sind, die beispielsweise bei einem unter dem Mikroskop befindlichen, im Wasser liegenden Blattquerschnitt an der Grenze zwischen Cuticula und Wasser auftritt.

Beim Heben des Mikroskoptubus sieht man die helle Linie in die Cuticula aus dem Wasser, beim Senken desselben umgekehrt ins Wasser aus der Cuticula wandern und die vielen in der botanischen und zoologischen Literatur befindlichen Angaben »stark lichtbrechend, schwach lichtbrechend« sind je nach der beobachteten Intensität dieser Lichtlinie gemacht worden.

Welches sind nun die Ursachen, welche diese Lichtlinie bewirken?

Nehmen wir an, daß zwei verschieden stark lichtbrechende Medien mit vertikaler Grenze, also parallel der optischen Achse des Mikroskops aneinanderstoßen und daß die Beleuchtung mittels konvergent einfallenden Lichtes erfolge, etwa wie es durch die Richtung der Lichtstrahlen 1 bis 12 in Fig. 1

angedeutet sein möge.[1] Über und unter den beiden lichtbrechenden Substanzen *AB* und *BC* wollen wir Medien annehmen, welche das Licht in gleicher Weise wie diese brechen, um die Erklärung nicht unnötigerweise zu komplizieren. Wenn wir nun ein Strahlenbüschel betrachten, das, wie die Fig. 1 es zeigt, auf einen Punkt der vertikalen Trennungsebene von der Seite der schwächer lichtbrechenden Substanz *AB* auffällt, so zeigt sich, daß die Strahlen 1 bis 6 gebrochen werden, und

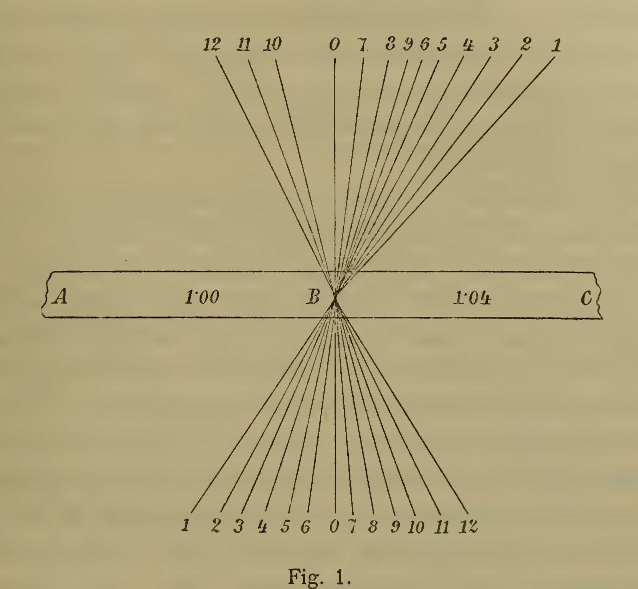


Fig. 1.

zwar, wie leicht zu ersehen, zum Lote. Von den Strahlen 7 bis 12, die von der Seite des stärker brechenden Mediums *BC* auffallen, werden einige die Trennungsebene unter dem Winkel der Totalreflexion treffen und total reflektiert werden. Hier sind es die Strahlen 7 bis 9. Die noch übrigen Strahlen 10, 11, 12 gehen aus dem dichteren in das dünnere Medium und werden vom Lote gebrochen.

---

[1] Die Zeichnung geht auf eine Konstruktion von Snellius zurück und bezieht sich auf ein Verhältnis der Brechungsexponenten $n_1 : n_2 = 1 : 1·04$. Siehe Leitfaden der Physik von E. Mach, Prag 1891.

Während also die Lichtstrahlen von unten gleichmäßig auffallen, treten sie aus der Platte ungleichmäßig heraus in der Weise, daß eine Anhäufung derselben auf der Seite der stärker lichtbrechenden Substanz stattfindet. Dadurch schon wird eine größere Helligkeit auf der Seite des stärker lichtbrechenden Mediums bewirkt.

Es muß aber weiters noch berücksichtigt werden, daß die Intensität der total reflektierten Strahlen 7 bis 9 an und für sich bedeutend größer ist als die vom Lote gebrochenen Strahlen 10, 11, 12 in dem schwächer lichtbrechenden Medium *AB*, so daß an der Grenze der beiden das Licht verschieden brechenden Substanzen auf der Seite der stärker brechenden eine große Helligkeit herrschen wird, falls das Mikroskop entsprechend eingestellt ist.

Beim Heben und Senken des Mikroskoptubus findet man eine Stellung, die sogenannte mittlere Einstellung, bei welcher man die Grenzebene der beiden aneinanderstoßenden lichtbrechenden Medien als eine scharfe Linie sieht, wobei die Grenzpartien gleich stark beleuchtet sind; denn jetzt fallen, wie die Fig. 1 zeigt, nebst dem Lichtstrahl 0 nur wenige ganz schwach geneigte Strahlen in die Objektivlinse des Instrumentes. Hebt man nun den Tubus, so scheint eine scharf hervortretende Linie von der Grenze der beiden verschieden lichtbrechenden Medien in das stärker brechende zu wandern. Je höher man das Mikroskop einstellt, desto undeutlicher und lichtschwächer wird die Linie. Senkt man jetzt wieder das Instrument, so wandert die Lichtlinie, die man in der Petrographie und Mineralogie nach dem Vorschlage W. Salomon's (2) jetzt allgemein als Becke'sche Linie bezeichnet, aus dem stärker brechenden Medium gegen die Grenze, verschwindet dann bei mittlerer Einstellung des Instrumentes, um bei weiterem Senken von der Grenze in das schwächer brechende Medium einzuwandern.

Hat man also den Mikroskoptubus bis zu einer mittleren Einstellung auf die Grenze zweier aneinanderstoßender Medien gesenkt, so wandert die Becke'sche Linie beim Heben des Tubus in das stärker lichtbrechende Medium ein. Hiebei sieht

es aus, als ob das ganze stärker brechende Objekt heller beleuchtet wäre.

Becke hebt in seiner zitierten Abhandlung hervor, daß das Einengen des Beleuchtungskegels bis zum Grenzwinkel der Totalreflexion die Beleuchtungsgegensätze steigert (siehe Fig. 1), daß aber noch weiteres Einengen die Erscheinung nicht deutlicher machen würde. Der Beleuchtungskegel muß also um so mehr eingeengt werden, je kleiner die zu beobachtenden Unterschiede der Lichtbrechung sind. Ein weit geöffneter Beleuchtungskegel würde die Lichtunterschiede nur verwischen und die einseitige Verstärkung des Lichtes wird dann zu gering, um noch sichtbar zu bleiben.

Für eine zweckmäßige Abstufung des Beleuchtungskegels kann man sich der Irisblende bedienen. Im Notfall wird man sich durch eine passende Blende und entsprechende Spiegelstellung eine gute Beleuchtung schaffen müssen.

Der Botaniker und Zoologe muß, sofern er diese geschilderten Erscheinungen deutlich sehen will, auch auf eine entsprechende Dünne der Objekte schauen; denn jeder Punkt der vertikalen Grenzebene kann ja, wie aus der Fig. 1 unmittelbar zu ersehen ist, Ausgangspunkt eines zweiten, dritten etc. unsymmetrischen Strahlenbüschels werden. Wenn tatsächlich viele solcher Strahlenbüschel entstehen, so wird eine beträchtliche Tubusverschiebung notwendig sein, um aus der Tiefstellung in die Hochstellung zu gelangen und die Lichtlinie wird undeutlich, mehr oder weniger verschwommen auftreten.

Sehr zu beachten ist ferner, daß die Grenze der beiden einander berührenden Substanzen mit der optischen Achse des Mikroskops nicht einen allzu großen Winkel bilde, was insbesondere in dem Falle sehr empfindlich störend einwirken würde, falls ein Übergreifen der stärker brechenden Substanz über die schwächer brechende stattfände, da alsdann die größere Intensität des Lichtes auf die Seite des schwächer lichtbrechenden Mediums käme. Diese Gefahr wird ferner um so größer, je geringer die Unterschiede in der Lichtbrechung werden. Da man solche schlechte Stellen aber wohl in der Regel durch das schlechte Hervortreten der Grenzlinie bei

mittlerer Einstellung erkennen kann, hat man Gelegenheit, sie von der Untersuchung auszuschließen.

Bei den bisherigen Erörterungen wurde immer angenommen, daß sich oberhalb und unterhalb der beiden Substanzen Medien von entsprechenden Brechungsexponenten befinden. Welche Erscheinungen treten nun auf, wenn dies nicht der Fall ist? Man wird ohneweiters einsehen, daß eine Substanz von höherem Lichtbrechungsvermögen, in die beispielsweise die zu untersuchenden Substanzen eingebettet sind, die Richtigkeit der Beobachtung kaum tangieren dürfte. Im anderen Falle ist dies aber ohne Zweifel um so mehr der Fall, je größer die Differenz der Brechungsexponenten ist, weil die aus der zu untersuchenden Substanz austretenden Lichtstrahlen dementsprechend vom Licht abgelenkt werden, so daß die Beleuchtungsunterschiede undeutlich werden. Man muß also bei der Beurteilung, ob ein Objekt stärker oder schwächer lichtbrechend ist, auch auf das einschließende Medium achten.

Was die Genauigkeit dieser Beobachtungsmethoden anbelangt, mögen aus der oben angegebenen Schrift Prof. Becke's eigene Worte hier Platz finden: »Die Unterschiede, die sich mittels dieser Beobachtungsmethoden noch wahrnehmen lassen, sind in der Tat sehr klein. Wenn beispielsweise zwei Quarzdurchschnitte mit annähernd unter 90° gekreuzten Hauptachsen verwachsen sind, so kann man leicht den Durchschnitt, welchen das polarisierte Licht als außerordentlicher Strahl durchsetzt ($\varepsilon = 1 \cdot 553$), von dem anderen unterscheiden, dessen Schwingungsrichtung dem ordentlichen Strahle entspricht ($\omega = 1 \cdot 544$); der erstere erscheint deutlich stärker lichtbrechend. Nach einer Drehung um 90° kehrt sich das Verhältnis um. Eine Differenz von 0·009 im Brechungsexponenten ist mit größter Leichtigkeit wahrnehmbar. Unter günstigen Umständen sind aber noch viel kleinere Unterschiede wahrnehmbar.

Leuzitdurchschnitte in einem Dünnschliff enthalten in der doppelbrechenden Hauptmasse schmale Zwillingslamellen. Wurde der Durchschnitt derart in die Auslöschungsstellung gebracht, daß die Schwingungsrichtung des Polarisators mit a der Hauptmasse (c der Lamellen) übereinstimmt, so erschienen bei Beobachtung mit zentraler Beleuchtung und stark eingeengtem

Beleuchtungskegel die Lamellen bei Hoch(Tief)stellung deutlich heller (dunkler) als die Umgebung. Der Unterschied der Brechungsexponenten, der so zur Wahrnehmung gelangte, betrug kaum mehr als 0·001.«

Um die Lichtbrechungsexponenten organischer Körper bestimmen zu können, kann man sich auch des S. Exner'schen Mikrorefraktometers bedienen, das jetzt nach Becke's Angaben von der Firma Fuess angefertigt wird. Dieses Instrument gestattet die seitliche Abblendung des Lichtes bei dessen Austritt aus dem Okular.

Zu diesem Zwecke wird der kleine Apparat über das Okular des Mikroskops gestülpt und der ausziehbare Teil so lange verschoben, bis der das Gesichtsfeld umgebende blaue Saum verschwunden ist. Eine am Mikrorefraktometer angebrachte Schraube bewegt einen Schieber vor die Öffnung und blendet dadurch einen Teil der Strahlen ab. Durch eine Konstruktion des Strahlenganges, wie sie beispielweise in H. Rosenbusch' Mikroskopischer Physiographie (4) zu finden ist, überzeugt man sich leicht, daß der dem einfallenden Lichtkegel abgewandte Rand eines stärker lichtbrechenden Körpers stärker beleuchtet wird als der zugewandte, oder, wenn wir die mikroskopische Umkehrung berücksichtigen, daß im Bilde ein stärker brechender Körper einen hellen Rand auf der Seite des einfallenden Lichtes zeigt. Auch sieht man aus der oben angeführten Konstruktion, daß die Unterschiede an den beiden Seiten des Körpers deutlicher hervortreten, wenn noch eine Einschnürung des einfallenden Lichtkegels stattfindet. Durch Beobachtung mit dem Mikrorefraktometer kann man leicht zwei Flüssigkeiten finden, von denen die eine das Licht eben noch stärker, die andere gerade etwas noch schwächer bricht als die Substanz, deren Brechungsindex zu bestimmen ist. Diese beiden Flüssigkeiten mischt man miteinander so lange, bis die zu untersuchende Subsanz auf beiden Seiten im Gesichtsfelde des Mikrorefraktometers gleich hell erscheinen und bestimmt dann mittels des großen Abbeschen Refraktometers (5) den Brechungsexponenten. Man kann aber auch die Brechungsexponenten der beiden noch nicht mit dem zu untersuchenden Körper übereinstimmenden Flüssigkeiten mittels des Abbe'schen Refraktometers ermitteln und das

arithmetische Mittel der beiden Brechungsexponenten der Flüssigkeiten als Exponenten nehmen; doch wäre die Genauigkeit keine große.

Exner hat mittels der angeführten Methode die optischen Eigenschaften lebender Muskelfasern untersucht und im Wiesner'schen Institut wurden nach der gleichen Methode die Brechungsexponenten der Stärkekörner zahlreicher Pflanzen von E. Ott ermittelt, auf welche Arbeit ich später noch etwas näher eingehen werde.

Auch die sogenannte »Schlierenbeobachtung« Töpler's, die auf die Abblendung der Randstrahlen zurückgeht, kann bei diesen optischen Untersuchungen der Lichtbrechungsverhältnisse benützt werden. Das Nähere hierüber ersieht man aus Töpler's (7) Schrift.

Die Frage, welche von den beiden konkurrierenden Methoden, der Becke'schen oder S. Exner'schen, den Vorzug verdient, fühle ich mich nicht berufen zu beantworten. Der Mineraloge oder Petrograph wird immer die Becke'sche Methode anwenden. Auch mir schien diese Methode, da ich in dieselbe eingearbeitet war, größere Sicherheit und ein rascheres Arbeiten zu gewährleisten.

Das auf Ermittelung der Brechungsexponenten von organischen Substanzen gerichtete Interesse ist sehr alt. Die meisten der sich mit Optik beschäftigenden Physiker traten der Sache näher. In dem Lehrbuch der Physik von Hessler aus dem Jahre 1865 finden wir beispielsweise eine interessante Angabe über den Brechungsexponenten von Stärkemehl (wahrscheinlich ist Kartoffelstärke gemeint) $n = 1 \cdot 504$. Leider findet sich hierüber weder eine nähere Quellenangabe, noch ist die Untersuchungsmethode angegeben. Da Töpler's Schrift (7) im Jahre 1864 erschien, so wäre es nicht unmöglich, daß der Brechungsexponent der Stärke nach den dort angegebenen Prinzipien gefunden wurde.

Valentin hat auf zoologischem Gebiete Bestimmungen von Brechungsexponenten vorgenommen (9). Mit Hilfe eines Abbe'schen Refraktometers bestimmte er die Exponenten verschiedener tierischer Gewebe, von Muskeln, Bindegewebe etc. Auch S. Exner (10) unternahm in seiner Arbeit »Über

optische Eigenschaften lebender Muskelfasern« derartige Untersuchungen; auf beide Arbeiten werde ich später gelegentlich zurückkommen müssen.

Auf botanischem Gebiete sind die auf Ermittlung der Brechungsindices gerichteten Bestrebungen seltener, wenigstens soweit ich aus der mir zur Verfügung stehenden Literatur glauben muß. Da derlei Untersuchungen mit Vorliebe in physikalischen Zeitschriften publiziert werden, könnte mir vielleicht das eine oder andere entgangen sein.

Wiesner (11) bemerkte während seiner Untersuchungen der Stärkesorten, daß das Lichtbrechungsvermögen derselben sehr verschieden ist. Er beobachtete, daß Cannastärke, in Kopaivabalsam untersucht, bei mikroskopischer Betrachtung verschwindet, daß aber Kartoffelstärke deutlich sichtbar bleibt und nur in reinem Mekkabalsam zum Verschwinden gebracht werden kann.

Im Anschluß an diese Beobachtungen hat vor wenigen Jahren Dr. Emma Ott (12) die Brechungsexponenten zahlreicher Stärkesorten bestimmt. Dazu benützte sie das S. Exner'sche Mikrorefraktometer, das oben p. 1629 kurz besprochen wurde, ein Abbe'sches Refraktometer und ein gewöhnliches Mikroskop. E. Ott glaubte konstatieren zu können, daß die Größe des Brechungsvermögens der Stärkekörner erblich festgehalten werde, weil bei einer und derselben Stärkesorte stets das gleiche Lichtbrechungsvermögen festgestellt werden konnte.

Bei meinen Untersuchungen benützte ich ein Polarisationsinstrument von R. Fuess-Steglitz-Berlin, wie solche jetzt allgemein für petrographische Untersuchungen im Gebrauch stehen. Damit war mir die Möglichkeit gegeben, die Art der Auslöschung, die Polarisationsfarben (eventuell mit Hilfe eines Gipsblättchens, das sich leicht in den Tubus des Mikroskops einschieben läßt), ferner die Richtung der optischen Elastizitätsachsen des Fresnel'schen Ellipsoides zu bestimmen. Insbesondere aber handelte es sich mir um die Bestimmung der Lichtbrechungsexponenten. Zu diesem Zwecke untersuchte ich zunächst mittels des Gipsblättchens (Rot, I. Ordnung) die Richtung von α und γ. Ein- für allemal wurde die Schwingungs-

richtung des unteren Nikols des Polarisators festgestellt und in eine solche Lage gebracht, daß das aus ihm heraustretende polarisierte Licht mit dem von rechts nach links gehenden Faden des Fadenkreuzes im Okular parallel schwang. Die zur Untersuchung verwendeten Fasern brachte ich nun zuerst durch Drehen des Mikroskoptisches in eine solche Lage, daß ihre Längsachse mit dem von rechts nach links gehenden Faden parallel lag. War der Brechungsexponent der Faser für das in dieser Richtung das Objekt durchsetzende Licht bestimmt, so drehte ich den Mikroskoptisch um 90°; jetzt durchsetzte das Licht die Faser senkrecht zu ihrer Längsachse und es war nur notwendig, darauf zu achten, daß diese Lage während der ganzen Zeit der Untersuchung beibehalten wurde.

Um den Anforderungen möglichst zu genügen, welche die Becke'sche Methode zur Erlangung guter Resultate erfordert, suchte ich mir unter den im pflanzenphysiologischen Institute der Wiener Universität befindlichen zahlreichen Bastfaserarten nur jene aus, welche hinreichend dünne und durchsichtige Fasern boten oder doch leicht durch Schaben mit einem Radiermesser solche lieferten. Bei Holzuntersuchungen wurden mittels eines Rasiermessers erhaltene, möglichst dünne Schnitte verwendet. Auch darauf wurde Bedacht genommen, daß die Grenze zwischen Untersuchungsobjekt und Flüssigkeit rein und scharf war.

Als Flüssigkeiten verwandte ich in den ersten Tagen Benzin und α-Monobromnaphthalin mit einem Brechungsexponenten $n = 1 \cdot 6665$ für die D-Linie, nach dem Abbe'schen Refraktometer bestimmt. Da aber bei dem niederen Molekulargewicht das Benzin ungemein schnell aus dem α-Monobromnaphthalin entweicht, so daß auch bei raschem Arbeiten beträchtliche Fehler unvermeidlich sind, sah ich mich nach einer anderen Flüssigkeit um und wählte Xylol, das mit seinem verhältnismäßig niedrigen Brechungsexponenten $n = 1 \cdot 494$ und dem höheren Molekulargewicht sich ausgezeichnet bewährte. Nach 12 Minuten langem Stehen dieses Gemisches (zirka 15 cm^3) im offenen Gefäße war der Brechungsexponent nur um $0 \cdot 004$ gesunken bei einer Junitemperatur von 26° C.

Bevor ich an die Ermittlung von Brechungsexponenten der Bastfasern schritt, hielt ich zunächst eine Untersuchung über den Einfluß des Wassergehaltes auf das Lichtbrechungsvermögen für geboten. Ich benützte zu diesen Versuchen Kartoffelstärke und suchte den Exponenten zu bestimmen. Bei der Beobachtung im parallel polarisierten Lichte zeigten die in Xylol + α-Monobromnaphthalin unter dem Polarisationsinstrumente liegenden Körner der Kartoffelstärke eine variable Intensität der Becke'schen Linie beim Drehen des Mikroskoptisches, was ja mit Rücksicht auf die Doppelbrechung der Stärkekörner zu erwarten ist. Da ich über die Art der Elastizitätsachsen mit Sicherheit nichts ermitteln konnte und auch in der Literatur Einwandfreies nicht vorfand, brachte ich die Stärkekörner, die eine ausgesprochene Längserstreckung zeigten, in eine solche Lage, daß das polarisierte Licht dieselben einmal ihrem größten Radius möglichst parallel durchstrahlte, das andere Mal senkrecht zu demselben. Da sich die Stärkekörner wie Sphärokristalle verhalten, mußte auf die deutliche Längserstreckung Rücksicht genommen werden, denn dann ist der größte Teil des Kornes aus Teilen aufgebaut, die in der Richtung der optischen Achse gestreckt sind; der Einfluß der anders orientierten Teile des Kornes ist dann gering und konnte vernachlässigt werden. Dadurch erhielt ich zwei Brechungsexponenten

$$\omega = 1\cdot5137$$
$$\varepsilon = 1\cdot5177.$$

Unter der vielfach gemachten Annahme, daß die Stärkekörner optisch einachsig und positiven Charakter haben, könnte man die Differenz der Brechungsexponenten

$$\varepsilon - \omega = 0\cdot0040$$

als einen Wert für die Höhe der Doppelbrechung ansehen; der wirkliche Wert kann nur größer sein, aber nicht kleiner, wie mir Prof. Becke angibt, daher $\varepsilon - \omega$ als ein Minimalwert anzusehen ist. Überhaupt dürfte sich schwer eine Beobachtungsmethode finden lassen, mit Hilfe der α und γ rein gefunden werden könnte, da die anderen Partien des Sphärokristalls, deren optische Symmetrieachsen geneigt liegen, mitwirken.

Hierauf wurde Kartoffelstärke durch 4 Stunden in einem Thermostaten bei ungefähr 60° C. getrocknet. Die Körner zeigten in ihrem morphologischen Aussehen keine Veränderung. Der Brechungsexponent war dagegen auffallend gestiegen, denn es ergab sich unter Berücksichtigung der oben angeführten Punkte

$$\omega = 1 \cdot 5209$$
$$\varepsilon = 1 \cdot 5250,$$

woraus hervorgeht, daß der Wert für die Höhe der Doppelbrechung $\varepsilon - \omega = 0 \cdot 0041$ gleich geblieben ist (da die vierte Dezimale innerhalb der Fehlergrenze der Beobachungsmethode, Instrumente etc. liegt).

Diese Befunde über den Einfluß des Wassergehaltes auf das Lichtbrechungsvermögen konnten bei der Kompliziertheit der optischen Erscheinungen der Stärkekörner die Frage noch nicht sicher beantworten. Daher untersuchte ich vergleichsweise auch Holz von *Aesculus Hippocastanum*, das von einem 3·5 *cm* dicken Aste stammte. An Tangentialschnitten wurden die Brechungsexponenten der Fasern bestimmt und ergaben, je nachdem die Faserrichtung des Holzes parallel oder senkrecht zur Schwingungsrichtung des unteren Nikols war

$$\varepsilon = 1 \cdot 5540$$
$$\omega = 1 \cdot 5240.$$

In diesem Falle war das Holz lufttrocken; wurde es befeuchtet und sodann in analoger Weise das Lichtbrechungsvermögen bestimmt, so ergaben sich

$$\varepsilon = 1 \cdot 5516$$
$$\omega = 1 \cdot 5214.$$

In vielen anderen Fällen wurde nun bloß auf die Intensität der Lichtlinie Bedacht genommen, wobei sich zeigte, daß immer das befeuchtete Material ein niedrigeres Lichtbrechungsvermögen besaß als das lufttrockene. Hingegen blieben die Polarisationsfarben fast unverändert.

Aus diesen Beobachtungen dürfte hervorgehen, daß der Wassergehalt das Lichtbrechungsvermögen der Stärke, der Holz- und Bastfasern herabdrückt. Die allgemeine Annahme, daß

Wasser bei allen vegetabilischen Substanzen die gleiche Wirkung hervorbringe, dürfte um so berechtigter sein, wenn man die Art der Wirkung des Wassers — Verringerung der optischen Dichte — in Betracht zieht.

Während nun diese Wirkung des Wassergehaltes bei den Mineralogen schon seit langem für viele Fälle bekannt war, glaubte H. v. Mohl (13) noch 1859, daß weder Austrocknung noch Quellung die optischen Eigenschaften der Stärkekörner irgendwie beeinflussen können.

Im nachfolgenden gebe ich die Untersuchungsresultate bei den Bastfasern und bemerke, daß ich dieselben einer speziellen Trocknung nicht aussetzte, weil ich nach den Beobachtungen an *Linum*-Fasern Grund zur Annahme hatte, daß der Wassergehalt der lufttrocken in den Instituten aufbewahrten Bastfasern und ebenso der Hölzer nicht derartig großen Schwankungen unterliegt, daß bedenkliche Differenzen in der vierten Dezimale der ermittelten Brechungsexponenten eintreten könnten (siehe Tabelle I auf p. 1636).

Die Speziesbenennung erfolgte auf Grund der den einzelnen Fasern im pflanzenphysiologischen Institute beigegebenen Etiketten. In der zweiten und dritten Kolonne ist die Lage der einzelnen Elastizitätsachsen angegeben, und zwar bedeutet γ entsprechend der Bezeichnungsweise in der Mineralogie und Petrographie die kleinste Elastizität, α die größte. In allen untersuchten Fasern fand ich übereinstimmend die Achse der kleinsten Elastizität in der Längsrichtung, die der größten in der Querrichtung. Zur Bestimmung von α und γ verwendete ich ein Gipsplättchen Rot erster Ordnung. Auffallend war nach den Angaben von B. Remec (14), daß Fasern von *Attalea*, *Cocos*, *Borassus*-Frucht und *Tillandsia* ein entgegengesetztes Verhalten zeigen sollten.

Fasern von *Cocos nucifera* geben eine vollständig normale Orientierung, desgleichen auch von *Tillandsia;* hingegen konnten in der Tat *Borassus* und *Attalea* leicht auf obigen Irrtum führen. Remec und anderen entgingen die eigentümlichen optischen Erscheinungen der Tüpfel, durch welche die scheinbare Umkehrung der Elastizitätsachsen hervorgerufen wird. Herr Prof. Dr. H. Tertsch hatte die Güte, die Fasern von

Tabelle I.

Spezies	α	γ	Faser parallel der Schwingungsrichtung des Polarisators	Faser senkrecht zur Schwingungsrichtung des Polarisators	Differenz der Brechungsexponenten (Doppelbrechung)	Auslöschung
Linum usitatissimum	Längsrichtung	Querrichtung	1·5757	1·5362	0·0395	Orthogonal
Cannabis sativa	»	»	1·5870	1·5320	0·0550	»
Gossypium barbadense	»	»	1·5770	1·5338	0·0432	»
Memphisbaumwolle	»	»	1·5744	1·5314	0·0430	»
Boehmeria nivea	»	»	1·5879	1·5331	0·0548	»
Abelmoschus tetraphyllus	»	»	1·5695	1·529	0·0405	»
Araujia sericifera	»	»	1·567	1·528	0·0390	»
Calotropis gigantea	»	»	1·5894	1·5345	0·0549	»
Abroma fastuosa	»	»	1·545	1·5316	0·0124	»
Hibiscus Cassei (?)	»	»	1·5645	1·5320	0·0325	»
Wickstroemia canescens	»	»	1·5630	1·5316	0·0314	»
Lasiosiphon speciosus	»	»	1·5620	1·5320	0·0300	»
Kostelelzkya pentacarpa	»	»	1·5635	1·533	0·0305	»
Dracaena Papahu (?)	»	»	1·5636	1·5332	0·0305	»
Hedysarum lagopodioides	»	»	1·5636	1·5332	0·0304	»
Boehmeria tenacissima	»	»	1·573	1·5305	0·0425	»
Agave americana	»	»	1·53	1·522	0·008	»
» *perfoliata*	»	»	1·5715	1·522	0·0495	»
Yucca gloriosa	»	»	1·555	1·523	0·0320	»

Borassus einer genaueren optischen Untersuchung zu unterziehen und berichtet mir folgendes, wofür Genanntem hiemit bestens gedankt sei: »Die Fasern von *Borassus* zeigen ziemlich hohe Doppelbrechung, welche besonders bei Einschaltung des Gipsplättchens mit Rot erster Ordnung sich durch das Hinaufschnellen der Farben in die zweite, ja bei dicken Bündeln bis in die dritte Ordnung ausprägt (in der Additionsstellung).

Solange die Fasern und Gefäße keine oder wenig Tüpfel zeigen, ist die Orientierung normal, γ in der Längsrichtung, α quer, entsprechend einer Pressung in der Querrichtung. Das Auftreten der Tüpfel ändert aber scheinbar die Orientierung. Man sieht gewöhnlich bei reichlicher Anwesenheit der Tüpfel α in der Längsrichtung. Bei genauerer Beobachtung ergibt sich folgendes.

Jeder Tüpfel ist von einem Spannungshof umgeben, der sich bei gekreuzten Nikols leicht erkennen läßt. Sie sind oft dicht gedrängt und sehr klein. Der im polarisierten Lichte den Tüpfel umgebende Spannungshof ist gewöhnlich kreisrund, hat keine scharfe Begrenzung, sondern ist nur durch die nach allen Seiten gleichmäßig nachlassende Doppelbrechung gegeben. Interessanterweise ist das im Falle einer Parallelstellung der Fasern mit einer Nikolrichtung zu beobachtende schwarze Kreuz nicht tetrasymmetrisch, sondern höchstens disymmetrisch. Zwei gegenüberliegende Quadranten sind gewöhnlich heller als die beiden anderen. Weiter ist auffällig, daß eine völlig geschlossene Kreuzfigur erst eintritt, wenn die Nikolrichtung nicht mehr genau mit der Faserrichtung zusammenfällt. Bei noch weiter erfolgender Drehung erscheint in der 45°-Stellung gegenüber den Nikols überhaupt nur ein breiter verschwommener Balken beiläufig senkrecht zur Faserrichtung (Fig. 2, 3, 4).

Versuche, die Tüpfelform zu ermitteln, ließen erkennen, daß die Tüpfel gestreckt sind in der Richtung von links unten nach rechts oben. Die optischen Verhältnisse sind derart, als ob die Tüpfel durch einen schief aufsteigenden Riß entstanden wären, der zu einer möglichst allseitigen Kontraktion der begrenzenden Zellwand benützt wurde und dabei eine linsenförmige Öffnung entstand, wobei die beiden Enden als

Kontraktionszentren wirkten. In der Richtung der vektoriellen Linien liegt, wie immer bei Kontraktionsdoppelbrechung, α senkrecht, also in Ellipsen γ. Unschwer erkennt man jetzt die disymmetrische Ausbildung der Doppelbrechung, welche erst dann ein geschlossenes Kreuz liefern kann, wenn die Tüpfelspalte parallel mit der Nikolrichtung geht, die Faser also geneigt dazu (Fig. 3).

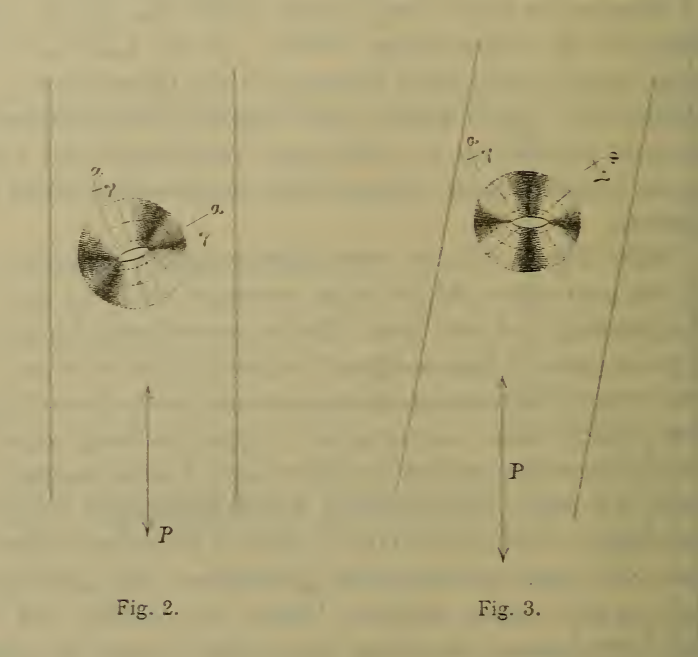


Fig. 2. Fig. 3.

Nachdem sich die Schwingungsrichtungen um die beiden Endpunkte radial anordnen, wird in der Richtung der Tüpfelspalte die Änderung der Schwingungsrichtung sehr rasch erfolgen, während sie senkrecht dazu auf größere Strecken fast parallel bleiben. Demnach werden die schwarzen Balken, die von den Spaltenden ausgehen, nahe aneinander rücken. Führt man die Konstruktion der schwarzen Balken auf Grund des angegebenen Verhaltens der Doppelbrechung in verschiedenen Richtungen für mehrere Lagen der Faser aus, so ergibt sich bei Drehung der Faser nach der einen Seite infolge der Schieflage der Tüpfelspalte ein schmales dunkles Feld, bei Drehung nach der anderen Seite ein breiteres, was auch durch die

Beobachtung bestätigt wird, da die Faser in der ersten Lage bedeutend heller ist.«

Aus all dem ergibt sich, daß ein breites Feld des Spannungshofes nahezu in der Faserrichtung liegt und demnach seine Doppelbrechung geltend machen kann. Dagegen sind die schmalen Felder senkrecht dazu so klein, daß sie durch die kräftige Farbe der anderen erdrückt werden. Dazu kommt noch, daß die Tüpfel rund um die ganze Faserwand verteilt sind und Tüpfel der Unter- und Oberseite daher gleichzeitig wirken. Liegen sie genau übereinander (was wegen der schiefen Tüpfelspalte kaum erreichbar sein dürfte), dann wird die Wirkung der breiten Felder verstärkt. Decken sie sich nur teilweise, dann werden im allgemeinen nur ungleichartige Felder aufeinandertreffen, die sich gegenseitig aufheben, und das räumlich größere Feld wird auch seine Farbe durchsetzen. Wir sehen daher unter allen Umständen jene Orientierung bevorzugt, welche durch die breiten Quadranten gegeben ist. Diese aber bringt mit sich, daß die nebeneinanderliegenden Tüpfel alle innerhalb ihres Spannungshofes α nahezu parallel der Faserrichtung bringen und deshalb die Orientierung fälschen.



Fig. 4.

Bei *Cocos nucifera* sind die auftretenden Tüpfel nur von sehr kleinen Spannungshöfen umgeben, so daß die Hauptorientierung nicht verdeckt werden kann.

Attalea verhält sich normal. Bei der Beobachtung stört die braune Eigenfarbe. Andrerseits fälscht das reichliche Auftreten großer, behöfter, kreisrunder Tüpfel oft die Orientierung. Die durch den Porus erkennbare Tüpfelhaut ist ohne oder fast ohne Doppelbrechung. Im Spannungshof des Tüpfels ist natürlich α radial geordnet.

Die richtige Orientierung ist oft nur an den durchschnittenen Zellwänden zu erkennen.

Mit dieser angegebenen Orientierung stimmen, da selbe ja im Aufbau der Fasern ihre Ursache hat, andere physikalische Erscheinungen überein (Quellung etc.).

Schon seit langer Zeit war es bekannt, daß das Lichtbrechungsvermögen der histologischen pflanzlichen Objekte ein bedeutendes sei. Die ermittelten Brechungsexponenten der Bastfasern erlauben einen direkten Vergleich mit denen der Minerale, woraus hervorgeht, daß sie ein ähnliches starkes Lichtbrechungsvermögen besitzen wie weit verbreitete Minerale, beispielsweise Quarz:

$$\varepsilon = 1 \cdot 55328$$
$$\omega = 1 \cdot 54418$$

oder Feldspat (Orthoklas):

$$\alpha = 1 \cdot 5190$$
$$\gamma = 1 \cdot 5260,$$

Gips:

$$\alpha = 1 \cdot 5207$$
$$\gamma = 1 \cdot 5305.$$

Die Ursachen dieser Lichtbrechungsverhältnisse sind sowohl in der chemischen Beschaffenheit als im physikalischen Aufbau zu suchen. Darauf hat auch Remec (l. c. p. 369) hingewiesen, indem er zeigte, daß selbst bei gleicher chemischer Beschaffenheit und gleicher Dicke der Membranen der Brechungsexponent verschieden sein kann.

Infolge der Kenntnis der Lage der Elastizitätsachsen und der dadurch gebotenen Möglichkeit, den größten und kleinsten Brechungsexponenten bestimmen zu können, ergab sich in einfachster Weise auch die Größe der Doppelbrechung aus der Differenz der beiden ermittelten Brechungsexponenten.

Aus der Literatur sind mir nur zwei Versuche bekannt geworden, die Höhe der Doppelbrechung von tierischen und pflanzlichen Objekten zu bestimmen. v. Ebner benützte, um die Differenz der Exponenten des außerordentlichen und ordent-

lichen Strahles $\varepsilon - \omega$ für den Muskel zu berechnen, eine aus seinen zahlreichen Versuchen ermittelte Konstante und drückte die Interferenzfarbe für gekreuzte Nikols aus durch die Ordnungszahl und Wellenlänge eines dunklen Interferenzstreifens im Spektrum der betreffenden Interferenzfarbe. Die nötigen Daten lieferten ihm die genauen Untersuchungen Rollet's. v. Ebner erhielt für die Größe der Doppelbrechung von Muskeln verhältnismäßig niedrige Werte, beispielsweise für den Sartorius des Frosches $\varepsilon - \omega = 0 \cdot 0021$, und seiner Vermutung, daß die quergestreiften Muskeln unter den weichen tierischen Geweben nicht die stärkste Doppelbrechung haben, pflichtet man gern bei, wenn man vergleichsweise Muskeln und gewisse Bindegewebe, Sehnen u. dgl. auf ihre Lichtbrechungsverhältnisse selbst nur oberflächlich untersucht.

Eine sehr interessante, den Petrographen und Mineralogen allerdings nicht ganz neue Methode, die Höhe der Doppelbrechung zu bestimmen, hat H. Ambronn (25) entwickelt. Auch er beobachtet über einem Nikol'schen Prisma und stellt die Polarisationsebene zunächst mit der einen, sodann mit der anderen Elastizitätsachse parallel, also ganz so, wie dies bei den vorliegenden Untersuchungen geschah. Nun nimmt er aber nicht zwei in jenen beiden Lagen mit dem Brechungsvermögen des anisotropen, zu untersuchenden Objektes übereinstimmende Flüssigkeiten, was man ja jetzt mittels der Becke'schen Lichtlinie bei einiger Übung sehr schnell und leicht erreichen kann. Er nimmt eine Flüssigkeit, von der ihm nur bekannt zu sein braucht, daß der Wert ihres Brechungsexponenten zwischen den beiden Werten des anisotropen Objektes liegt und es muß dann beim Drehen des Mikroskoptisches aus der Parallelstellung eine Lage, ein Azimut gefunden werden, bei welchem die Grenzen des Objektes in der Flüssigkeit verschwinden. Aus zwei solchen Azimuten mit zwei derlei Flüssigkeiten ermittelt nun Ambronn die Brechungsexponenten durch Rechnung, indem er die Beziehungen zwischen den Halbachsen und dem Radiusvektor zu den optischen Elastizitäten in den entsprechenden Richtungen der Elastizitätsfläche zur Aufstellung von zwei Gleichungen benützt, die schließlich folgende Form annehmen:

$$n_o^2 = \frac{n_n^2 \cos^2 \alpha - n_m^2 \cos^2 \alpha_1}{\cos^2 \alpha - \cos^2 \alpha_1}$$

$$n_e^2 = \frac{n_n^2 \sin^2 \alpha - n_m^2 \sin^2 \alpha_1}{\sin^2 \alpha - \sin^2 \alpha_1},$$

wobei n_o, n_e die gesuchten Exponenten, n_m, n_n die Exponenten bei den entsprechenden Azimuten und α den Winkel bedeutet, welcher durch die Richtung des Radiusvektors gegeben ist. Die praktische Bedeutung dieser Methode ist aber leider eine sehr geringe, da die gefundenen Werte schon in der zweiten Dezimalstelle große Fehler aufweisen, wie Ambronn selbst zugesteht.

Was nun die Genauigkeit der vorliegenden Werte für die Brechungsexponenten und die Höhe der Doppelbrechung von Holz- und Bastfasern anbelangt, so möge diesbezüglich die Bemerkung gestattet sein, daß in die Richtigkeit der dritten Dezimalstelle kaum Zweifel gesetzt werden können, da diese das Abbe'sche Refraktometer verläßlich angibt. Mit der Becke-schen Methode könnte man ferner unter Berücksichtigung störender oben erwähnter Einflüsse auch die vierte Dezimale am Refraktometer genau bestimmen, falls dieses diese Stelle verläßlich angeben würde und man nicht auf eine Schätzung angewiesen wäre, ganz abgesehen von etwa dem Instrument anhaftenden Fehlern. Um aus der Schätzung allein sich etwa ergebende Fehler möglichst auszuschließen, wurden regelmäßig drei Ablesungen gemacht und aus diesen dann das Mittel genommen. Aus diesen und einigen anderen Fehlerquellen zu schließen, mag immerhin die vierte Dezimale mit einem Fehlerwerte von $\pm 0 \cdot 0002$ nach oben und unten behaftet sein. Doch dürfte dieser Umstand kaum den ermittelten Werten für das Brechungsvermögen und die Größe der Doppelbrechung Eintrag tun.

Alle Botaniker, die sich bisher mit den optischen Verhältnissen pflanzlicher Objekte, speziell mit den Fasern beschäftigten, vermuteten insgesamt eine hohe Doppelbrechung, wofür besonders die hohen Polarisationsfarben sprachen, die das Polarisationsinstrument bei gekreuzten Nikols zeigt. v. Ebner (16) sprach in seinem mehrmals erwähnten Buche (p. 211) die Meinung aus, daß die Doppelbrechung der Bastfasern von

Lein und Hanf die von Gips und Quarz bedeutend zu übertreffen scheint. Und er hatte vollständig recht; denn die Doppelbrechung

der Leinfaser zeigt den Wert . . . . $\varepsilon-\omega = 0\cdot0395$,
die der Hanffaser den Wert . . . . $\varepsilon-\omega = 0\cdot0550$,
während die Doppelbrechung von Quarz beispielsweise nur den Wert besitzt . . . . . . $\varepsilon-\omega = 0\cdot00910$,
Gips . . . . $\gamma-\alpha = 0\cdot0098$,
Orthoklas . . . . $\gamma-\alpha = 0\cdot0070$.

Während ich derartige niedrige Werte für die Höhe der Doppelbrechung nur bei einer einzigen von den untersuchten Bastfasern, nämlich bei *Agave americana* konstatieren konnte, $\varepsilon-\omega = 0\cdot008$, kommen allen übrigen untersuchten Fasern Werte zu, welche die der angeführten Minerale um ein Bedeutendes überragen.

In der letzten Kolonne der Tab. 1 ist die Auslöschung angegeben. Um diese in einfachster Weise zu bestimmen, ermittelt man zunächst die Schwingungsrichtung des unteren Nikols und stellt sodann den einen Faden des Fadenkreuzes im Okular mit dieser Richtung parallel. Brachte ich eine von den untersuchten Bastfasern zwischen gekreuzte Nikols, so zeigten alle Dunkelheit, wenn sie mit dem einen Faden des Fadenkreuzes parallel lagen. Die Auslöschung erwies sich also in allen Fällen als eine gerade. Hiemit bestimmt man aber gleichzeitig auch die Schwingungsrichtungen, indem bei der Dunkelstellung zwischen gekreuzten Nikols die Schwingungsebenen der Bastfaser mit denen der beiden Nikols übereinstimmen. Mit Rücksicht auf dieses gleichmäßige Verhalten der von mir untersuchten Bastfasern, die so ziemlich alle Typen umfassen dürften, und des weiteren Umstandes, daß die morphologischen Verhältnisse aller Bastfasern im wesentlichen übereinstimmen dürften, liegt der Schluß nahe, daß allen Bastfasern eine gerade Auslöschung zukommt und somit in ihrem inneren physikalischen Aufbau übereinstimmen.

Die Untersuchung der Bastfasern im Konoskop ergab ein dunkles Kreuz, das beim Drehen des Mikroskoptisches bald geschlossen, bald geöffnet erscheint. Diese Erscheinung regte

zur Untersuchung des Querschnittes an, welche an 10 μ dicken Mikrotomschnitten erfolgte.

Im Querschnitt ist α radial, γ tangential gelagert, so daß schon im Orthoskop vier kreuzweise angeordnete Stellen der durchschnittenen Wand schwarz bleiben. Der Vergleich mit der Orientierung des Längsschnittes ergibt demnach, daß in beistehend skizziertem Bruchstücke einer Faserwand

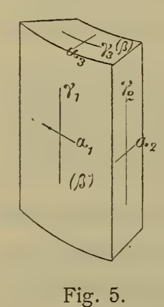


Fig. 5.

$$\alpha_2 = \alpha_3, \quad \gamma_1 = \gamma_2, \quad \alpha_1 = \gamma_3.$$

Das deutet auf eine Spannungsdoppelbrechung mit Eigenschaften, welche analog sind denen zweiachsiger Kristalle, wobei $\alpha_2 = \alpha_3$ dem α, $\alpha_1 = \gamma_3$ dem β und $\gamma_1 = \gamma_2$ dem γ entspricht.

Holzuntersuchungen.

Während die optischen Eigenschaften der Bastfasern sich leicht feststellen ließen, boten die analogen Untersuchungen des Holzes beträchtliche Schwierigkeiten.

Zunächst wurde darauf Bedacht genommen, daß das Holz aus verschiedenen histologischen Elementen aufgebaut wird, woraus sich naturgemäß als erste Frage ergab, ob diese einzelnen Elemente in Bezug auf die optischen Eigenschaften sich gleich verhalten.

Die Tracheiden, Libriformfasern, die Gefäße und die Markstrahlen haben die Achse größter Elastizität (α) in der Querrichtung, die der kleinsten γ in der Längsrichtung (in Bezug auf Zelle) bei allen untersuchten Hölzern; auch die Auslöschung ist überall eine gerade, aber infolge Störung durch behöfte Tüpfel wird nicht selten nur unvollkommene Dunkelheit erreicht. Im Lichtbrechungsvermögen kann man dagegen leicht einen, wenn auch kleinen Unterschied auffinden. Ich verwendete zu nachfolgenden Versuchen Eichenholz von einem zirka 6 *cm* dicken Aste *(Quercus sessiliflora)*, von dem Tangentialschnitte hergestellt wurden. Brachte ich diese in ein Gemisch von Monobromnaphthalin + Xylol, in welchem die Gefäße des Holzes gerade verschwanden, also in ihrem Lichtbrechungsvermögen mit dem

der Flüssigkeit übereinstimmten, so waren die Tracheiden und Libriformfasern noch sichtbar und die Becke'sche Linie wanderte beim Heben des Mikroskoptubus aus den Gefäßen in diese beiden histologischen Elemente; sie sind also etwas stärker lichtbrechend als die Gefäße, wenngleich der ermittelte Unterschied außerordentlich gering (0·0005[1]) ist. Andrerseits erwiesen sich die Markstrahlenzellen (Wand) um ein Geringes (0·0003[1]) schwächer lichtbrechend als die Gefäße. Der Unterschied zwischen den Markstrahlen einerseits und den Gefäßen und Holzfasern andrerseits ist hier allerdings ziemlich gering, wohingegen die bei *Betula alnifolia* ermittelten Werte beträchliche Differenzen aufweisen.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen dürfte mit Sicherheit der Schluß gezogen werden können, daß die verschiedenen histologischen Elemente des Holzes auch ein verschiedenes Lichtbrechungsvermögen besitzen. Diese Unterschiede, in manchen Fällen kaum wahrnehmbar *(Acer platanoides, Aigiphila Humboldtii, Quercus sessiliflora)*, können aber auch bedeutender sein *(Betula alnifolia)*.

Es mußte ferner als wahrscheinlich im vorhinein angenommen werden, daß Wurzel-, Kern-, Splint-, Ast- und Zweigholz eines Baumes im Lichtbrechungsvermögen Unterschiede erkennen lassen dürften. Die nach dieser Richtung angestellten Versuche ergaben in der Tat mehr oder minder abweichende Werte, wie die Tabelle zeigt. Es drängen sich infolge dieser Ergebnisse manche Vermutungen auf; doch fühle ich mich nicht berechtigt, aus diesen wenigen ermittelten Fällen irgend welche Schlüsse zu ziehen.

Um einem durch das Alter eventuell bedingten Einfluß des Holzes auf das Lichtbrechungsvermögen einigermaßen gerecht zu werden, gebe ich in der Tabelle auch die Größe des Radius an, wenngleich zu diesem Zwecke die Jahresringe zu zählen gewesen wären; allein das war in vielen Fällen unmöglich, da nur Bruchstücke der betreffenden Hölzer vorlagen. Welchen Einfluß, wenn überhaupt einer vorhanden, woran

[1] Diese Zahlen können natürlich mit Rücksicht auf ihre Ermittlung durch das Refraktometer nur als ungefähre Werte genommen werden.

ich nicht zweifeln möchte, das Alter des Holzes auf das Brechungsvermögen ausübt, konnte ich leider infolge meines Wegganges von Wien nicht konstatieren.

Es schien ferner auch die Frage von Interesse zu sein, wie sich die Holzelemente, die von mir, wie schon oben erwähnt, in lufttrockenem Zustande untersucht wurden, verhalten möchten im feuchten Zustande. Denn da Wasserabgabe, wie an der Stärke gezeigt werden konnte, den Brechungsexponenten stark in die Höhe treibt, so ließe sich vielleicht aus den Brechungsexponenten oder der Differenz der Brechungsexponenten, die gewisse Holzelemente in einem Schnitte einmal im lufttrockenen Zustande, das andere Mal im feuchten Zustande nach einer bestimmten Zeit zeigen, ein Schluß auf gewisse physikalische Eigenschaften (hygroskopisches Verhalten der einzelnen Holzelemente etc.) ziehen.

In der nachfolgenden Tabelle wurden die ermittelten Brechungsexponenten der Libriformfasern oder, wenn solche nicht vorhanden, der Tracheiden angegeben. Kommen diese beiden ersten Holzelemente im selben Holze vor, so schienen sie im Brechungsvermögen minimal zu differieren, weshalb ich in der Tabelle diese beiden Elemente nicht besonders namhaft gemacht habe, da diese Differenzen in der Fehlerzone der Methode liegen, wie schon oben erwähnt wurde. Dagegen mußten die Markstrahlen und die Gefäße besonders erwähnt werden. Die letzteren haben unter den Elementen des Holzes fast stets das kleinste Brechungsvermögen.

Tabelle II.

Spezies	Schnitt-richtung	Längsrichtung	Querrichtung	Faserrichtung des Holzes: parallel der	Faserrichtung des Holzes: senkrecht zur	Differenz der Brechungs-exponenten (Höhe der Doppel-brechung)	Aus-löschung	Nähere Bezeichnung des Holzes
				Schwingungsrichtung des Polarisators; Brechungsexponenten				
Acer platanoides	Tangential	γ	α	1·5680	1·5330	0·0350	Gerade	Astholz, Radius = 2 *cm*
» »	»	γ	α	1·5694	1·5342	0·0352	»	Kernholz, $R = 5 \cdot 6$ *cm*
» »	»	γ	α	1·5688	1·5335	0·0353	»	Splintholz, $R = 5 \cdot 6$ *cm*
» »	»	γ	α	1·5696	1·539	0·0294	»	Wurzelholz, $R = 2 \cdot 5$ *cm*
» »	»	γ	α	1·5676	1·533	0·0346	»	Zweigholz, $R = 0 \cdot 3$ *cm*
» *pseudoplatanus*	»	γ	α	1·5672	1·5328	0·0344	»	Astholz, $R = 4 \cdot 2$ *cm*
Aesculus Hippocastanum	»	γ	α	1·5540	1·5240	0·0300	»	Astholz, $R = 4 \cdot 5$ *cm*
» »	»	γ	α	1·5560	1·5290	0·0270	»	Wurzelholz, $R = 2 \cdot 5$ *cm*

Spezies	Schnitt-richtung	Längsrichtung	Querrichtung	Faserrichtung des Holzes: parallel der	Faserrichtung des Holzes: senkrecht zur	Differenz der Brechungs-exponenten (Höhe der Doppel-brechung)	Aus-löschung	Nähere Bezeichnung des Holzes
				Schwingungsrichtung des Polarisators; Brechungsexponenten				
Alnus glutinosa	Tangential	γ	α	1·5570	1·5282	0·0288	Gerade	Astholz, $R = 0 \cdot 9$ *cm*
» »	»	γ	α	1·5575	1·5283	0·0292	»	Splintholz, $R = 7$ *cm*
» »	»	γ	α	1·5584	1·5295	0·0289	»	Wurzelholz, $R = 1 \cdot 2$ *cm*
Aigiphila Humboldtii.	»	γ	α	1·5643	1·5364	0·0279	»	? $R = 0 \cdot 9$ *cm* Gefäße
Ademone mirabilis	» (?)	γ	α	1·5445	—	—	»	? Gefäße
Ailanthus glandulosa	»	γ	α	1·5545	1·5300	0·0245	»	Zweigholz, $R = 1 \cdot 2$ *cm*
» »	»	γ	α	1·5546	1·5302	0·0244	»	Astholz, $R = 3$ *cm*
Adenanthera pavonina	»	γ	α	1·5710	1·534	0·037	»	? $R = 2 \cdot 1$ *cm*

Anona muricata	»	γ	α	1·5690	1·5365	0·0325	»	Astholz (?), $R = 2 \cdot 2\,cm$
Cedrus Libani..............	»	γ	α	1·5630	1·5395	0·0235	»	Stammholz(?), $R = ?$
Cassia Alcaparra	»	γ	α	1·5620	1·5380	0·0240	»	Zweigholz, $R = 1 \cdot 6\,cm$
Betula alnifolia	»	γ	α	1·5587	1·5270	0·0317	»	Astholz, $R = 1 \cdot 8\,cm$
» »	Radial	γ	α	1·5420	1·5365	0·0055	»	Astholz, Markstrahlen
» »	Tangential	γ	α	1·5620	1·5300	0·0320	»	Wurzelholz, $R = 2 \cdot 4\,cm$
» *alba*	»	γ	α	1·558	1·5270	0·0318	»	Stammholz, $R = 3 \cdot 5\,cm$
Coffea arabica	»	γ	α	1·5530	—	—	»	Zweig (?), $R = ?$
Quercus sessiliflora..........	»	γ	α	1·5620	1·5330	0·0290	»	Astholz, $R = 3\,cm$
Pinus silvestris	»	γ	α	1·557	1·533	0·0240	»	Zweigholz, $R = 0 \cdot 6\,cm$

Wie die Tabelle besagt, stimmen die Holzfasern (Libriform und Tracheiden) bei den angeführten Hölzern in der Orientierung der Elastizitätsachsen überein, denn sie haben die Achse kleinster Elastizität (γ) in der Längsrichtung, die der größten (α) in der Querrichtung der Faser. Hingegen zeigte sich überall bei den Gefäßen die umgekehrte Orientierung und ebenso verhalten sich vielfach scheinbar diejenigen Tracheiden, bei denen sich Tüpfel in großer Zahl eng aneinander reihen. Mußte schon an und für sich dieses entgegengesetzte Verhalten der Gefäße

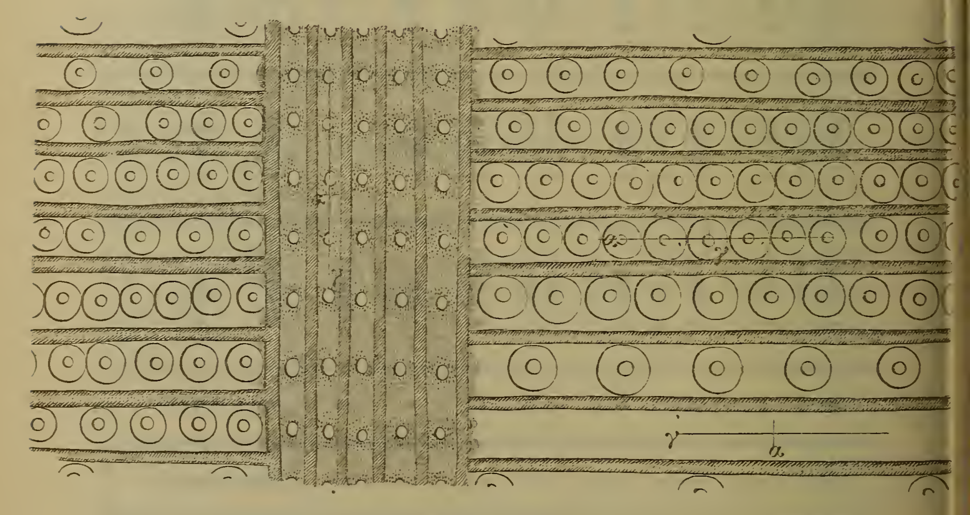


Fig. 6 (schematisch).

auffallen, so konnte das Verhalten der stark betüpfelten Tracheiden um so mehr bezweifelt werden, da diejenigen Stellen der Tracheiden, wo Tüpfel fehlen, α und γ, normal gelagert haben (Fig. 7 und 8).

Es läßt sich in der Tat leicht zeigen, daß auch diese Tracheiden und die Gefäße γ in der Längsrichtung und α in der Querrichtung haben.

Zwischen gekreuzten Nikols zeigen die Gefäße und vielfach auch die Tracheiden zufolge sehr geringer Membrandicke in der Flächenansicht gar keine Farben und nur geringe Aufhellung. Hingegen ist den Hoftüpfeln eine starke Spannungsdoppelbrechung eigen, entsprechend einer radialen Anordnung

der Substanz, wobei in der Halbmesserrichtung (radial) α, in der Richtung der Tangente (tangential) γ liegt (Fig. 8). Danach ist auf einen Druck oder eine Zusammenziehung im Sinne des Radius geschlossen worden. Infolge der geringen Helligkeit des Blauen erscheinen die gelben Quadranten ausgedehnter. Häufen sich nun die Tüpfel, dann liegen sehr viele solcher gelben Anteile beisammen und geben dem Gefäße oder der Tracheide eine scheinbar entgegengesetzte Orientierung der Elastizitäts-

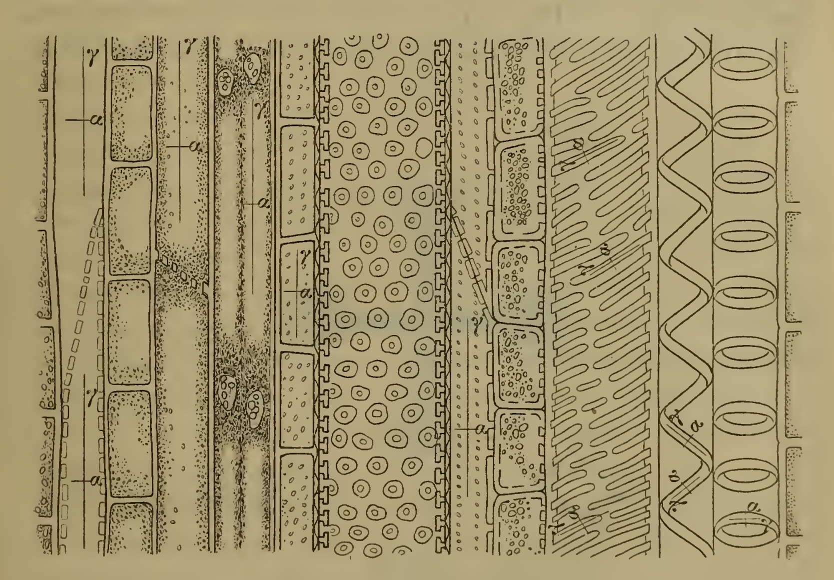


Fig. 7 (schematisch).

achsen. Diese Fälschung ist aber auch daran zu erkennen, daß es für solche Tracheiden keine Auslöschungsstellung gibt. Immer erscheint die Wand ganz wenig aufgehellt. Sind die Tüpfel klein und dicht gedrängt, wie beispielsweise bei *Anona muricata*, dann zeigt sich diese Erscheinung sehr auffällig und wird dadurch aufgeklärt, daß an Stellen, wo Tüpfel fehlen, geringe Doppelbrechung und normale Orientierung auftritt. Finden sich an den Gefäßen Verdickungsschichten in Form von Ringen, Schrauben, Netzen etc., so sind diese die Ursache der scheinbar abweichenden Orientierung, denn diese Bildungen haben in ihrer Längsrichtung (eine solche ist ja vorhanden) γ und quer α. Da nun diese Verdickungsleisten nahezu senk-

recht zur Längsrichtung der Gefäße verlaufen, müssen die Gefäße scheinbar entgegengesetztes Verhalten zeigen. In Wirklichkeit ist aber auch in diesen Fällen γ immer in der Längsrichtung und α in der Querrichtung orientiert (vergl. Fig. 7 und 8).

Auf diesen Einfluß der Tüpfel und der Verdickungsleisten scheint Schwendener (21) nicht genügend geachtet zu haben, denn er stellt die Netz- und Treppengefäße zu jenen Elementen, welche eine anomale Orientierung der Elastizitätsachsen zeigen sollen. Es läßt sich allgemein sagen, daß alle Faserbildungen im Pflanzenreich die Achse der klein-

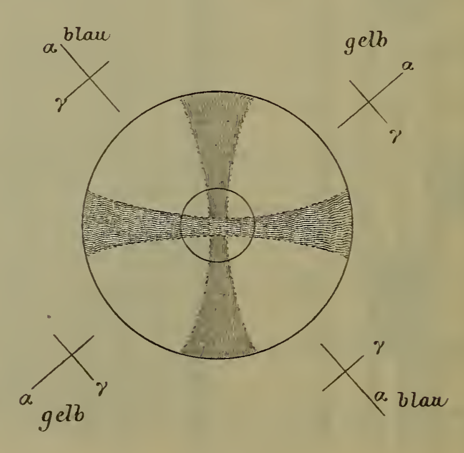


Fig. 8.

sten Elastizität (γ) in der Längsrichtung, die der größten in der Querrichtung besitzen. Vergleiche dagegen Ambronn, Zimmermann (26) und Remec.

Mit wenigen Worten möchte ich noch den Einfluß der chemischen Zusammensetzung auf das Lichtbrechungsvermögen berühren, soweit es eben die für diese Fragen gewiß allzu geringe Anzahl von Untersuchungen erlauben dürfte.

Schon auf p. 1635 wie sich auf eine Behauptung von Mohl hin, demzufolge die optischen Eigenschaften der Stärkekörner weder durch Extraktion mit Speichel noch durch mechanische Einwirkung, durch Alkohol, Austrocknen und Quellung geändert werden können. Mag nun Mohl wohl zunächst unter den optischen Eigenschaften das Brewstersche Kreuz gemeint

haben, so kann immerhin der Ausdruck auch allgemeiner gemeint sein. Insofern tatsächlich durch die genannten Eingriffe diese Erscheinung in keiner Weise tangiert wird, hat Mohl mit seiner Behauptung recht. Dagegen läßt sich sehr leicht zeigen, daß Austrocknung das Lichtbrechungsvermögen erhöht, wofür ich bereits oben zahlenmäßige Belege erbracht habe. Diese Erscheinung läßt sich sehr leicht vor Augen führen, indem man feuchte Stärkekörner einer beliebigen Handelssorte in einer bestimmten Flüssigkeit, beispielsweise α-Monobromnaphthalin + Xylol unter dem Mikroskop zum Verschwinden bringt. Untersucht man in derselben Mischflüssigkeit getrocknete Stärkekörner (derselben Sorte natürlich), so treten die Umrisse der Körner jetzt scharf hervor, welche Erscheinung nur auf ein verändertes Lichtbrechungsvermögen der Körner zurückgeführt werden kann, da ja die Flüssigkeit keine Veränderung erfahren hat, vorausgesetzt, daß man die Mischflüssigkeit nicht offen stehen läßt, da diesfalls das Xylol herausdunstet. Ich pflegte bei allen meinen Untersuchungen durch Pipetten gut verschließbare Gläschen zu benützen, je eines mit Monobromnaphthalin und Xylol, ein drittes mit der Mischung gefüllt, aus welchem ich mit der Pipette einen Tropfen auf das auf dem Objektträger liegende Objekt heraushob und das Deckgläschen rasch darauf legte. Obige Ergebnisse veranlaßten mich auch, die Wirkung des Speichels auf das Brechungsvermögen der Stärke zu untersuchen. Zu diesem Zwecke behandelte ich durch drei Tage Kartoffelstärke mit Speichel. Der Brechungsexponent der verwandten Kartoffelstärke, das Stärkekorn mit dem größten Durchmesser parallel dem einen Faden des Fadenkreuzes und der Schwingungsrichtung des unteren Nikols und im lufttrockenen Zustande untersucht, betrug 1·5137. Nach der Speichelbehandlung und eintägigem Trocknen im Zimmer bei zirka 18° C. betrug der Brechungsexponent $n = 1 \cdot 5209$; nach zweistündigem Trocknen bei 60° C. $n = 1 \cdot 5242$. Also auch die Speichelbehandlung hat Einfluß auf den Brechungsexponenten, denn sie erhöht denselben. Nägeli (20) hat demnach mit Mohl nur teilweise recht, wenn er sagt, daß nach Extraktion der sogenannten Granulose der zurückbleibende Rest (Nägeli's Zellulose) noch dieselben optischen Eigen-

schaften zeigt. v. Ebner benützte vielfach die, wie man sieht, nicht ganz richtigen Behauptungen Nägeli's gegen Schimper, der die Stärkekörner als Sphärokristalle erklärte.

In letzter Zeit hat Remec etwas eingehender die Frage nach dem chemischen Einflusse auf die Höhe der Doppelbrechung bei Bastfasern behandelt. Er unterscheidet dreierlei Bastfasern, nämlich aus reiner Zellulose bestehende, verholzte und verkorkte (oder sonst chemisch stark metamorphosierte Bastfasern), und meint, es müssen, wenn nur die chemische Beschaffenheit der Zellwand für die Höhe der Polarisationsfarben maßgebend wäre, sich chemisch gleich verhaltende Fasern unter sonst gleichen Umständen auch gleich hohe Interferenzfarben geben. Als Beweis führt er an, daß die aus nahezu reiner Zellulose bestehenden *Boehmeria*-Fasern schwach doppelbrechend sind, während die gleich dicken (?) Zellulosefasern von *Linum* und *Calotropis* sehr stark anisotrop sind und hohe Polarisationsfarben zeigen. Daraus zieht nun genannter Autor den Schluß: »Chemisch identische Fasern verhalten sich selbst bei gleicher Dicke verschieden.«

Meine Untersuchungen ergaben für die Höhe der Doppelbrechung der Fasern

von *Boehmeria nivea* den Wert .... $\varepsilon - \omega = 0 \cdot 0548$,
von *Linum* .... $\varepsilon - \omega = 0 \cdot 0395$,
von *Calotropis gigantea* .... $\varepsilon - \omega = 0 \cdot 0549$.

Danach haben, entgegen den Angaben von Remec, *Boehmeria* und *Calotropis* eine fast gleich hohe Doppelbrechung. Dieser Widerspruch zwischen den Angaben von Remec und den meinigen wird erklärlich, wenn man bedenkt, daß die Dickenbestimmung von solchen Fasern eine äußerst heikle Sache ist und daß selbst ganz kleine Dickenunterschiede einen bedeutenden Einfluß auf die Polarisationsfarben haben. Auch sind die Fasern nicht rund im Querschnitt, so daß bei einer Lageänderung der Faser sofort eine andere Farbe beobachtet werden kann. Meinem Dafürhalten nach dürfte man nur dann bei den Fasern aus den Polarisationsfarben einen Schluß auf die Höhe der Doppelbrechung zu ziehen berechtigt sein, wenn man sie in Form einer Platte wie die Minerale im Dünnschliff zur Ver-

fügung hätte oder die wirksame Dicke nach den Methoden der Kristalloptik bestimmen würde. Andernfalls haben die Untersuchungen nur einen sehr geringen wissenschaftlichen Wert.

Da aber auch meine Resultate Verschiedenheiten in der Höhe der Doppelbrechung ergeben, so scheint damit die Schlußfolgerung von Remec eigentlich eine weitere Bestätigung zu erfahren. Nun ist es aber einem jeden Färber eine bekannte Sache, daß die drei Faserarten ein ganz verschiedenes Färbevermögen besitzen, welcher Umstand darauf schließen läßt, daß sie auch chemisch mehr oder weniger verschieden sein dürften.

Schacht und einige Forscher nach ihm geben weiters an, daß das Lignin beim Doppelbrechungsvermögen der Fasern keine Rolle spielt. Dieser Satz ist aber, soweit ich aus der Literatur ersehen konnte, bisher noch von keinem Forscher einwandfrei bewiesen worden. Die Frage nach dem optischen Einflusse des Lignins wird dadurch um so dringender, weil verschiedene Forscher in der letzten Zeit mit der Behauptung hervortraten, daß der Gehalt an Lignin die physikalischen Eigenschaften der Hölzer stark beeinflusse. Es sei diesbezüglich auf Ebermayer (27), R. Hartig (28), P. Sonntag (29) hingewiesen.

Bei Untersuchung des Ligningehaltes der kultivierten Nadelhölzer fand A. Cieslar (30), daß beträchtliche Unterschiede zwischen Wurzel-, Stamm-, Ast- und Zweigholz vorhanden sind. Aus meinen Untersuchungen geht hervor, daß das Lichtbrechungsvermögen eben dieser Holzqualitäten verschieden groß ist. Es scheint deshalb wahrscheinlich zu sein, daß der verschieden große Gehalt an Lignin, ebenso wie er von Einfluß auf gewisse physikalische Eigenschaften (Härte, Zugfestigkeit etc.) ist, desgleichen auch wenigstens teilweise die optischen Eigenschaften beeinflusse.

Sollte die vorliegende Untersuchung einiger optischer Eigenschaften der Bastfasern und Holzelemente Anregung zu ähnlichen Studien geben, so wäre ein Zweck vorliegender Arbeit erreicht. Eine weitere Bearbeitung dieses Gebietes wird hoffentlich bald die sichere Beantwortung mehrerer Fragen ermöglichen, die noch offen gelassen werden mußten.

Zum Schlusse drängt es mich, einer angenehmen Pflicht nachzukommen, indem ich allen, welche das Zustandekommen dieser Arbeit förderten, meinen aufrichtigen Dank ausspreche. Derselbe gilt zunächst meinen hochverehrten Lehrern, Herrn Hofrat Prof. Dr. J. Wiesner und Herrn Prof. Dr. Friedrich Becke.

Zusammenfassung der Hauptresultate.

1. Es erfolgte die Ermittlung des größten und kleinsten Lichtbrechungsexponenten mit Hilfe der Becke'schen Lichtlinie und die Bestimmung der Höhe der Doppelbrechung von Holz- und Bastfasern aus der Differenz der beiden Brechungsexponenten.

2. Das Lichtbrechungsvermögen der Faserelemente des Wurzel-, Stamm-, Ast- und Zweigholzes ist bei derselben Spezies verschieden groß.

3. Fasern von *Cocos nucifera, Borassus flabelliformis, Tillandsia* sp., *Attalea funifera* etc. zeigen — entgegen den bisherigen Angaben — wie alle übrigen untersuchten Bast- und Holzfasern, desgleichen die Gefäße und Verdickungsleisten bei gegen 600 Spezies die Achse größter Elastizität (γ) in der Längsrichtung, die Achse kleinster Elastizität (α) in der Querrichtung.

Literatur.

1. Becke F., Über die Bestimmbarkeit der Gesteinsgemengteile, besonders der Plagioklase auf Grund ihres Lichtbrechungsvermögens. Diese Sitzungsberichte, Bd. CII, Abt. I. Juli 1903.
2. Salomon W., Zeitschr. für Krist. und Min., Bd. XXVI, 1896.
3. Exner S., Archiv für mikrosk. Anatomie, Bd. XXV, p. 97 ff. (1885).
4. Rosenbusch-Wülfling, Mikroskopische Physiographie, 4. Aufl., Bd. I. p. 265, Fig. 190.

5. Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper. Jena 1874.
6. Exner S., Archiv für die gesamte Physik, Bd. XXI, p. 10.
7. Töpler, Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode. Bonn 1864.
8. — Über die Methode der Schlierenbeobachtung als mikroskopisches Hilfsmittel, nebst Bemerkungen über schiefe Beleuchtung. Poggend. Annalen, Bd. XXVII, p. 556.
9. Valentin G., Ein Beitrag zur Kenntnis der Brechungsverhältnisse der Tiergewebe. Archiv für die ges. Physiologie, Bd. XIX, p. 78 (1879).
10. Exner S., Über optische Eigenschaften lebender Muskelfasern. Archiv für die ges. Physiologie, Bd. IL.
11. Wiesner J., Die technisch verwendeten Gummiarten, Harze, und Balsame, 1869.
12. Ott E., Einige Beobachtungen über die Brechungsexponenten verschiedener Stärkesorten. Österr. bot. Zeitschrift, 1899, Nr. 9.
13. Mohl H., v., Über den vorgeblichen Gehalt der Stärkekörner an Zellulose. Botanische Zeitung, 1859, Nr. 26.
14. Remec B., Über die spezifische Doppelbrechung der Pflanzenfasern. Diese Sitzungsberichte, Bd. CX, Abt. I (1901).
15. Brücke E., Untersuchungen über den Bau der Muskelfasern mit Hilfe des polarisierten Lichtes. Denkschriften der Akad. der Wiss. in Wien, Bd. XV, 1858.
16. Ebner V., v., Untersuchungen über die Ursachen der Anisotropie organischer Substanzen. Leipzig, Engelmann, 1882.
17. Groth P., Physikalische Kristallographie, 1902.
18. Mach E., Über die temporäre Doppelbrechung der Körper durch einseitigen Druck. Poggend. Annalen, Bd. CXLVI, 1872.
19. Müller N. J. C., Handbuch der Botanik, Bd. I, 1880.
— Botanische Untersuchungen, IV. Heidelberg 1875.

20. Nägeli C. und Cramer, Die Stärkekörner. Pflanzenphysiologische Untersuchungen, II. Heft. Zürich 1858.
— — Die Anwendung des Polarisationsapparates auf die Untersuchung der vegetabilischen Elementarteile. Botanische Mitteilungen, Bd. I, p. 186. München 1863.
— — Über das Wachstum der Stärkekörner durch Intussusception. Sitzungsberichte der k. bayer. Akad. der Wiss. in München, 1881.
21. — und Schwendener, Das Mikroskop. II. Aufl. Leipzig 1877.
22. Valentin G., Ein Beitrag zur Kenntnis der Brechungsverhältnisse der Tiergewebe. Archiv für die ges. Physiologie, Bd. XIX, 1879.
23. Rosenbusch-Wülfing, Mikroskopische Physiographie. I. Bd.
24. Rollett A., Über die Farben, welche in den Newton'schen Ringsystemen aufeinanderfolgen. Diese Sitzungsberichte, Bd. LXXVII, Abt. III, 1878.
25. Ambronn H., Über eine neue Methode zur Bestimmung der Brechungsexponenten anisotroper mikroskopischer Objekte. Ber. der math.-phys. Klasse der königl. Ges. der Wiss. zu Leipzig, Sitzung vom 6. Februar 1893.
— Über das optische Verhalten der Cuticula etc. Ber. der Deutschen botan. Ges., 1880, p. 26.
26. Zimmermann, Molekularphys. Untersuchungen. Ber. der Deutschen botan. Ges., Bd. II, 1884.
27. Ebermayer, Physiolog. Chemie der Pflanzen, I, p. 175 ff.
28. Hartig R., Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Pflanzen, p. 36.
29. Sonntag P., Die Beziehungen zwischen Verholzung, Festigkeit, Elastizität vegetabilischer Zellwände. Landw. Jahrb., Bd. XXI (1893), p. 839 bis 869.
30. Cieslar A., Über den Ligningehalt einiger Nadelhölzer. Mitteil. aus dem forstl. Versuchswesen Österreichs, Heft XXIII, W. Frick, Wien 1897.
31. Wiesner J., Untersuchungen über die Organisation der vegetabilischen Zellhaut. Diese Sitzungsberichte, Bd. XCIII, 1886.

32. Wiesner J., Die Elementarstruktur und das Wachstum der lebenden Substanz. Wien 1892.
33. — Über indische Faserpflanzen, nebst Beobachtungen über den feineren Bau der Bastzellen. Diese Sitzungsberichte, Bd. LXXII, 1870.
34. — Technische Mikroskopie. Wien 1867.
35. — Rohstoffe des Pflanzenreiches. Leipzig 1873. II. Auflage, 1900 bis 1903.
36. — Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Wien 1898.
37. Höhnel F., v., Die Mikroskopie der technisch verwendeten Faserstoffe, II. Aufl. Wien und Leipzig 1906.
38. Schwendener S., Über Quellung und Doppelbrechung vegetabilischer Membranen. Ber. der Akad. der Wiss. Berlin, 1887, p. 671.